

# 広帯域VLBI観測システムの 開発概要

関戸衛, 岳藤一宏、氏原秀樹、堤正則、宮内結花、  
長谷川新吾、川合栄治、ホビガートーマス, 市川隆一、  
近藤哲朗、小山泰弘  
情報通信研究機構



# 光周波数標準器

## ■ Cs原子時計：

- その定義は「セシウム133原子の基底状態の2つの超微細準位間の遷移に対応する放射の9 192 631 770周期の継続時間」

- 確度：15桁

## ■ 光の遷移周波数による秒の定義へ

- $4.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$

- 確度：16→18桁



# VLBI

# 技術を使った周波数比較

小型アンテナを  
使ったVLBI

どこにでも移設・設置できる  
周波数比較システム

感度改善  $\propto \sqrt{B}$

B: 帯域幅(1GHz) : 従来の $\sqrt{30}$ 倍

精度向上  $\propto 1/[EBW]^{1.5}$

EBW: 有効帯域幅 (~3GHz) : 従来の10倍

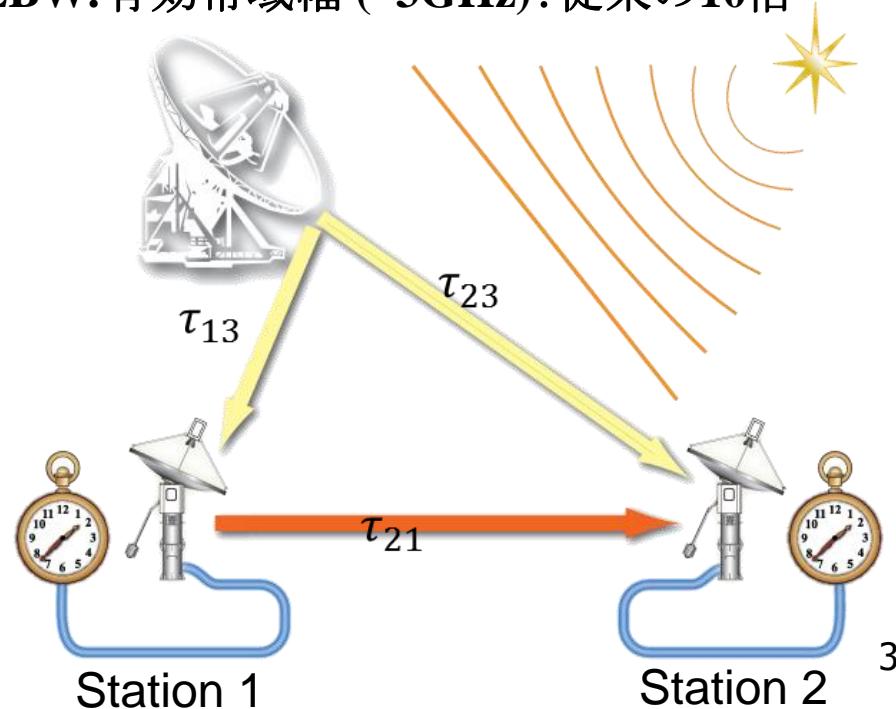
広帯域システム

↑  
互換性

次世代測地VLBI  
システムVGOS

## 開発課題

- 広帯域フィードの開発(氏原)
- 高速サンプラ[デジタルフィルタ](岳藤)
- 超広帯域バンド幅合成



# VLBIの遅延計測精度



つくば 32m 小金井1.5m

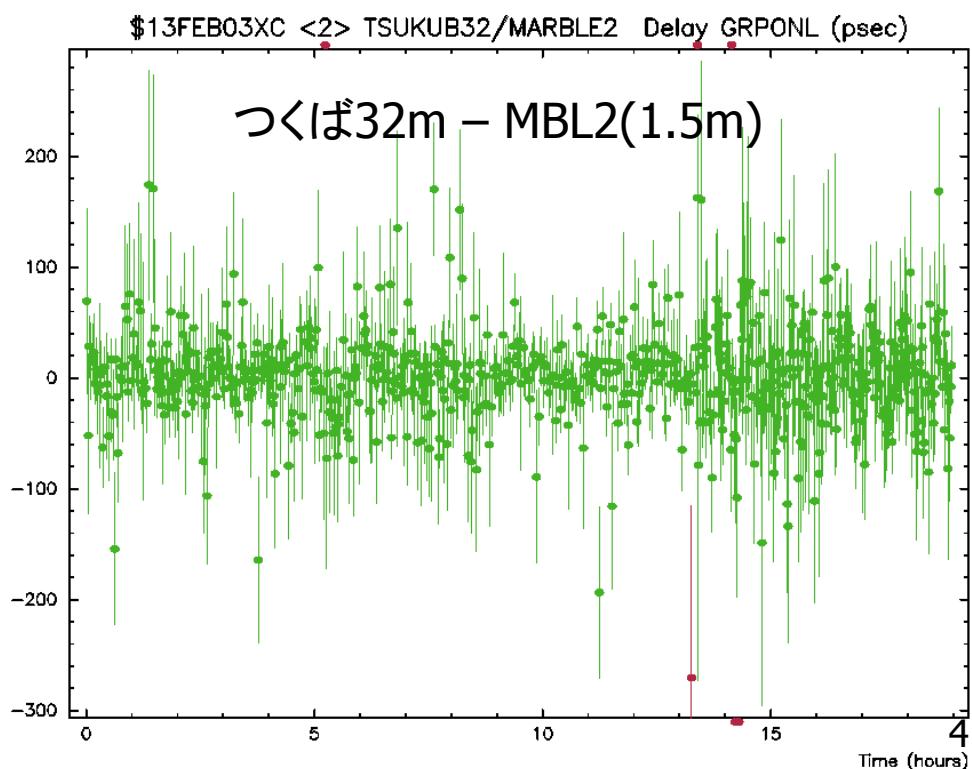
～2013年2月のX-band実験～

アンテナ口径	残差 RMS
11m-11m	～ 30 ps
32m-11m	～ 20 ps
32m-1.5m	～ 30 ps

主な誤差要因

1. 大気の推定誤差
2. 热雑音誤差  $\propto (SNR \times BW)^{-1}$

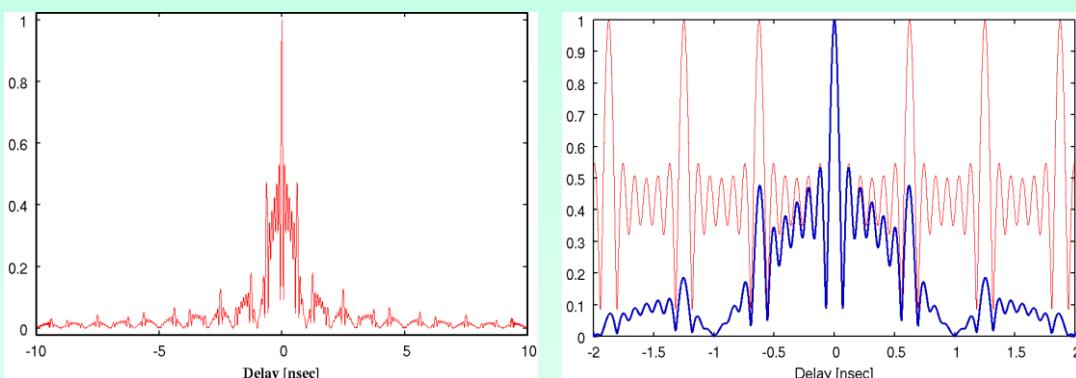
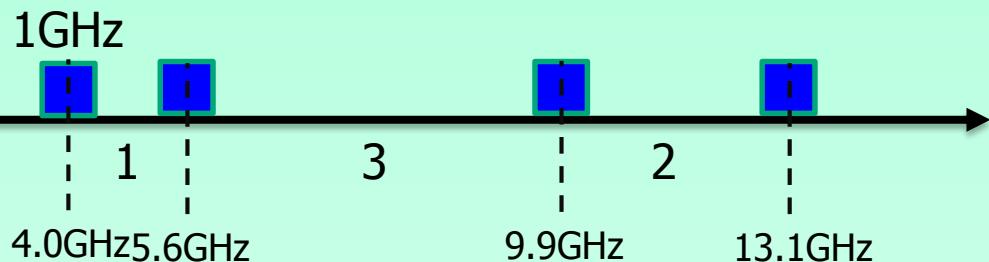
## VLBI解析 遅延残差の例



# Gala-V プロジェクト 概要

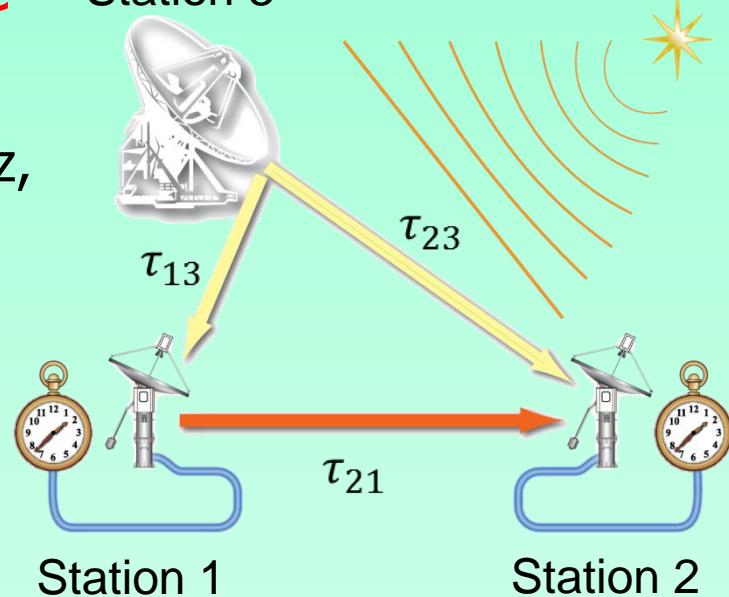
ターゲット遅延計測精度: 現状30 ps → 10 ps

- 観測周波数. : 3-14GHz Freq. Range
- 帯域: 4 band (1024MHz)
  - $F_c = 4.0\text{GHz}, 5.6\text{GHz}, 9.9\text{GHz}, 13.1\text{GHz}$
  - Effective BW: 3.8GHz



Combination of Small and Large Diameter antennas

Station 3



Station 1

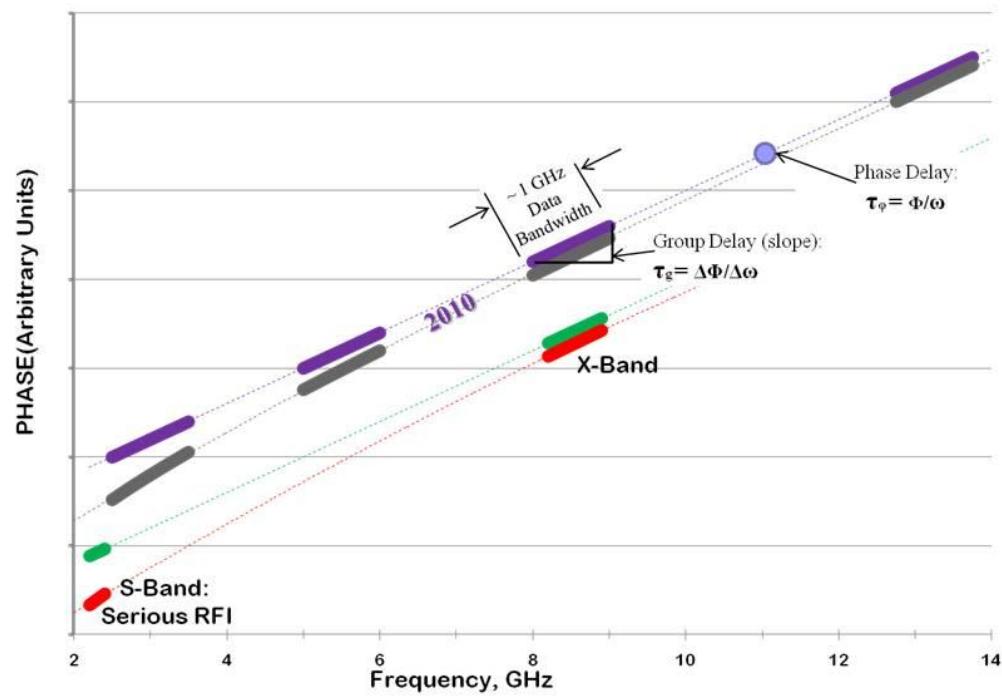
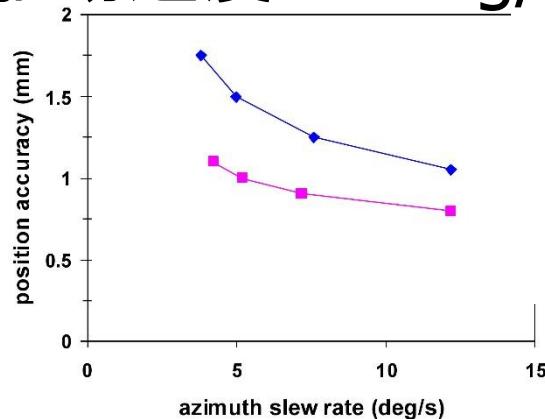
Station 2

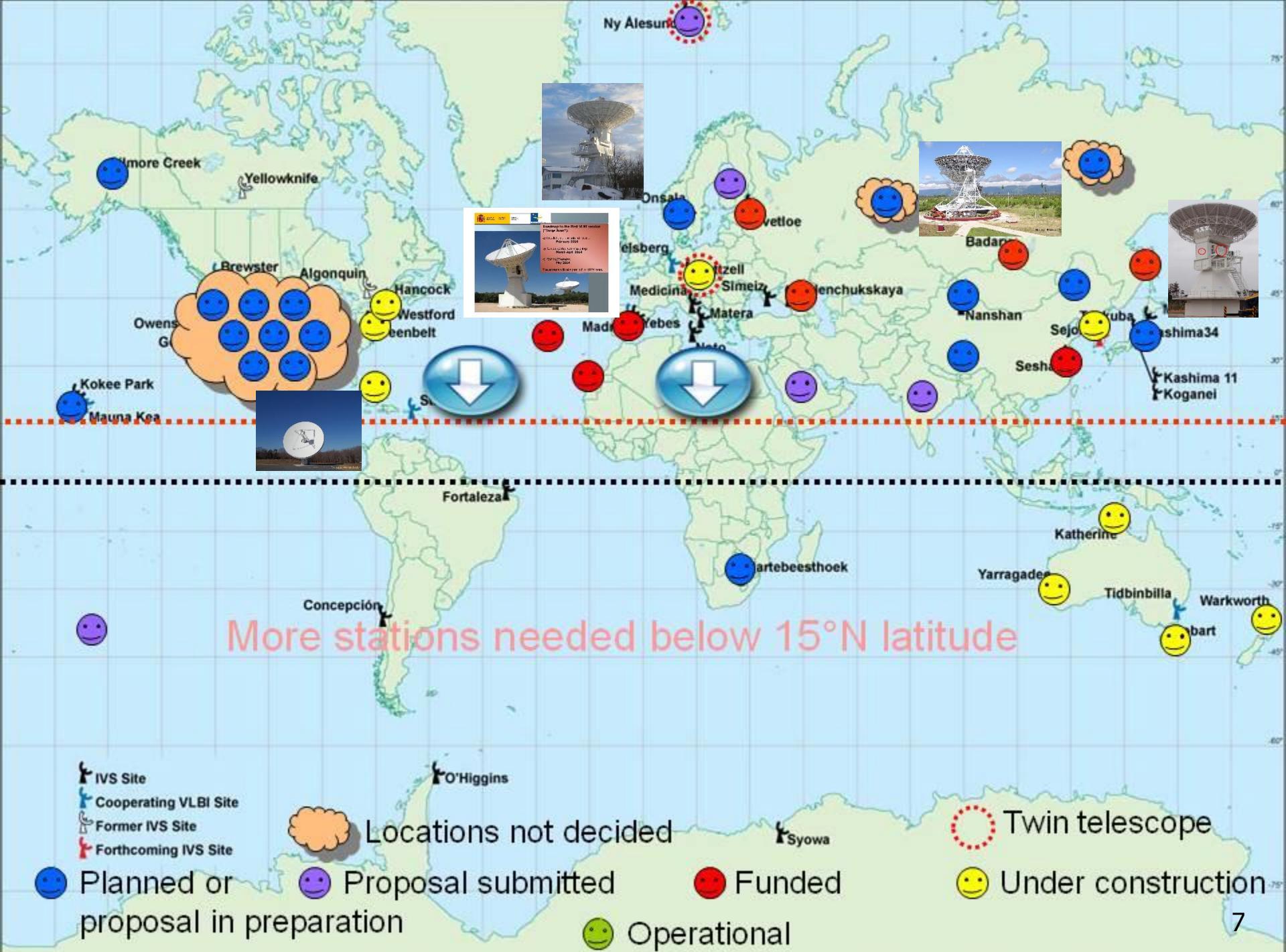
遅延分解関数: 遅延計測精度を決める相互相関関数の波形

# VGOS(VLBI2010 Global Observing System)

## VLBI2010

- Freq.: 2-14GHz
- 遲延精度: 1ps
- 測地精度: 1mm
- 駆動速度: 12deg/s





# 1.6/1.5m and 34m VLBI antenna



1.5m compact antenna



Kashima 34m antenna

- VLBI2010仕様に 部分準拠
  - 1 GHz x 4 band 3-15GHz Frequency Range



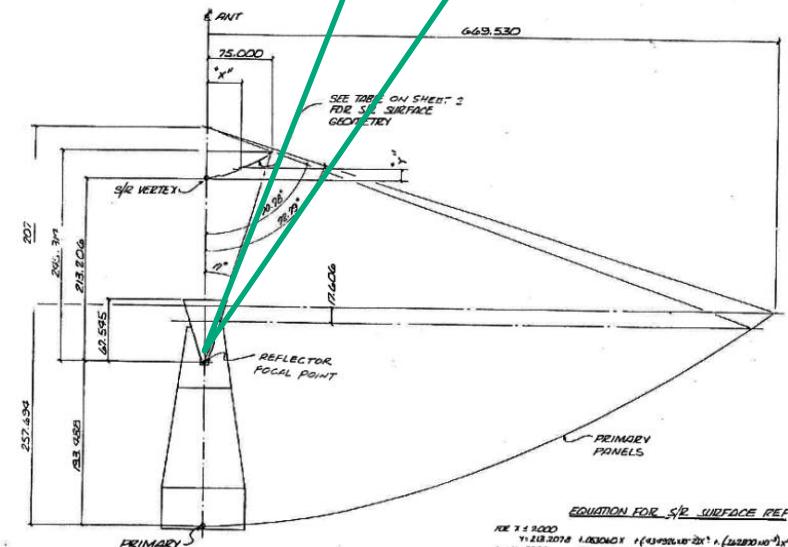
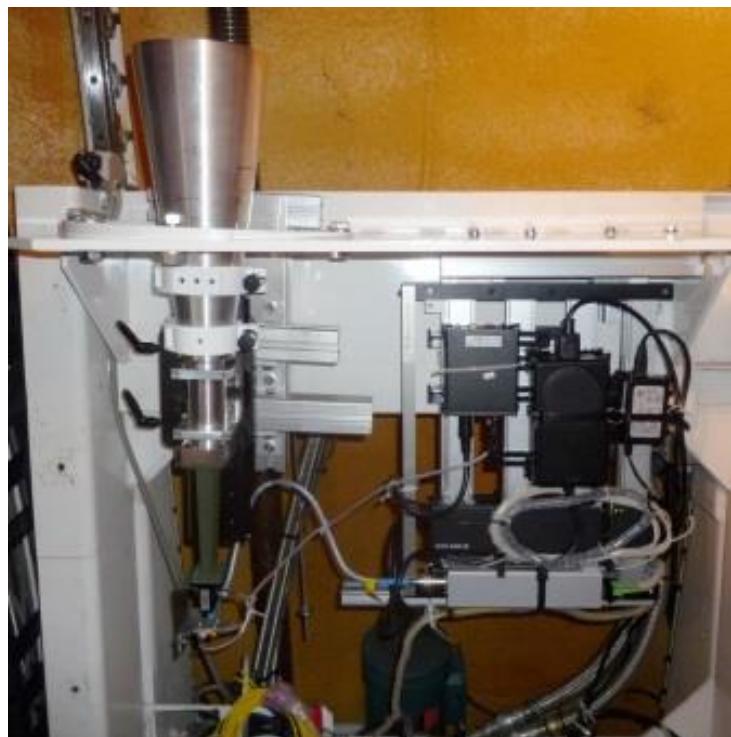
# “Iguana” Feed

副反射鏡見込み角 35 度

## 要求性能:

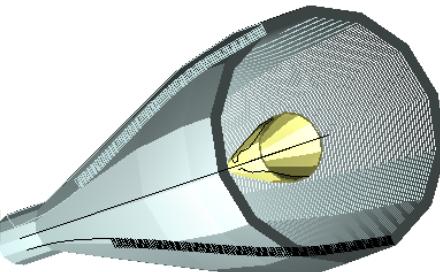
- 35 度. ビーム幅 for 3-14GHz

鹿島34mに搭載されたIguana Feed(氏原)と常温LNA



周波数帯域6.4-14GHz 次  
機は 2.2-18 GHz の見込み

広帯域フィード ‘Iguana’ の開発には国  
立天文台の共同研究開発ファンドに支  
援を頂いており、応募代表者の山口大  
学 藤澤教授、天文台 本間准教授、  
松本研究員 に感謝します。



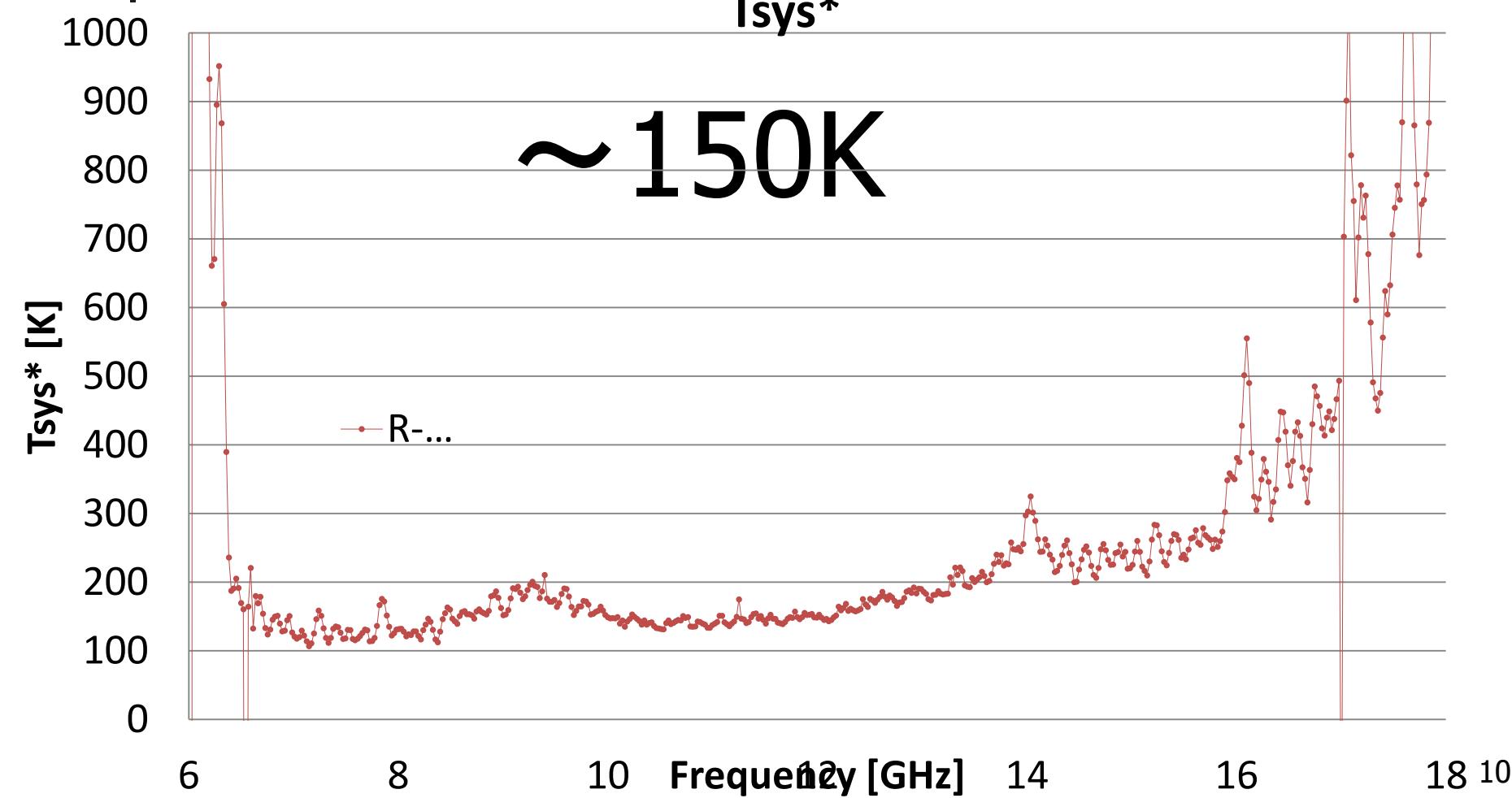
‘Iguana’ feedの  
イメージ



# 修正システム雑音温度 $T_{\text{sys}}^*$

$T_{\text{sys}}^*$

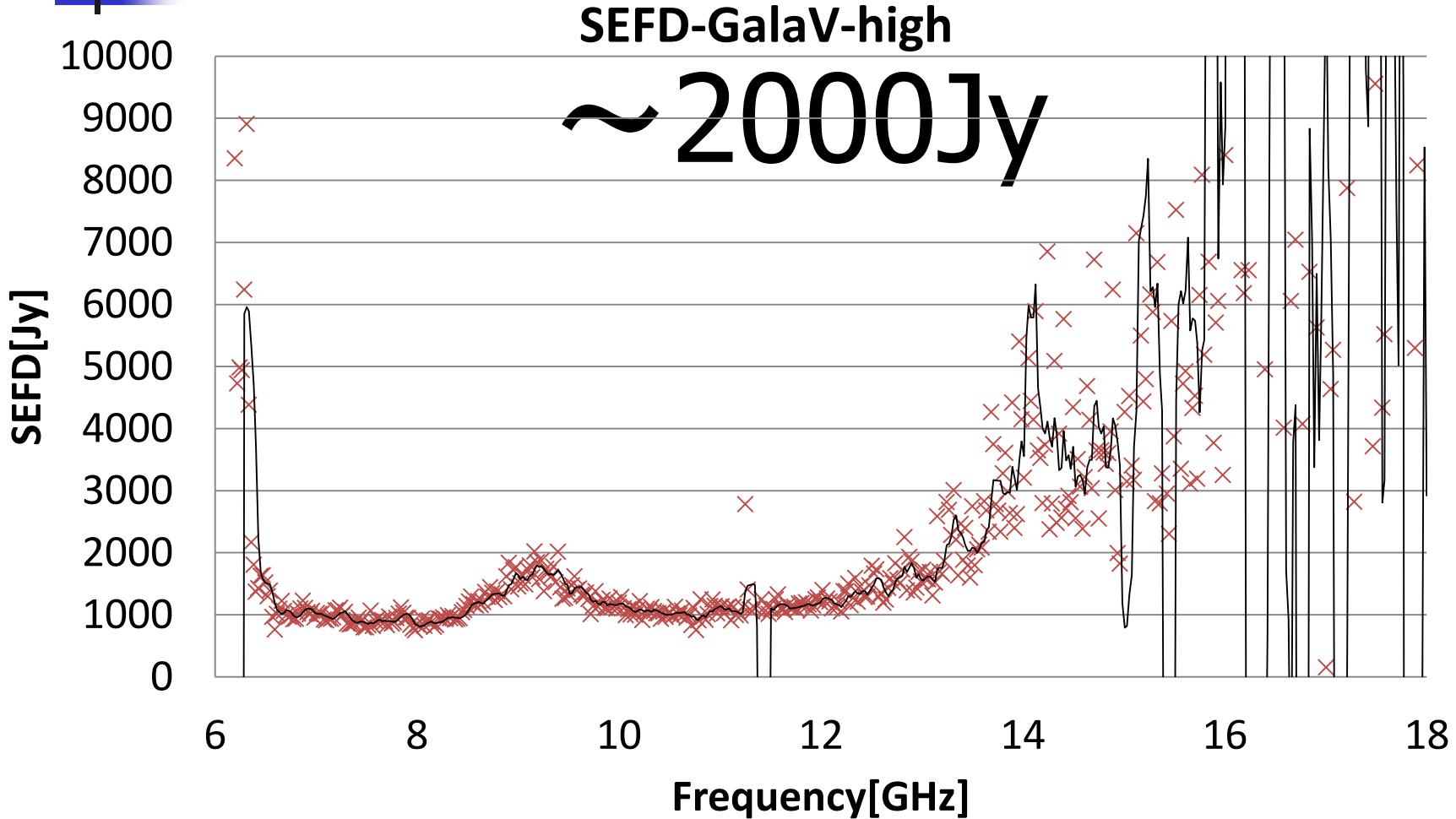
$\sim 150\text{K}$



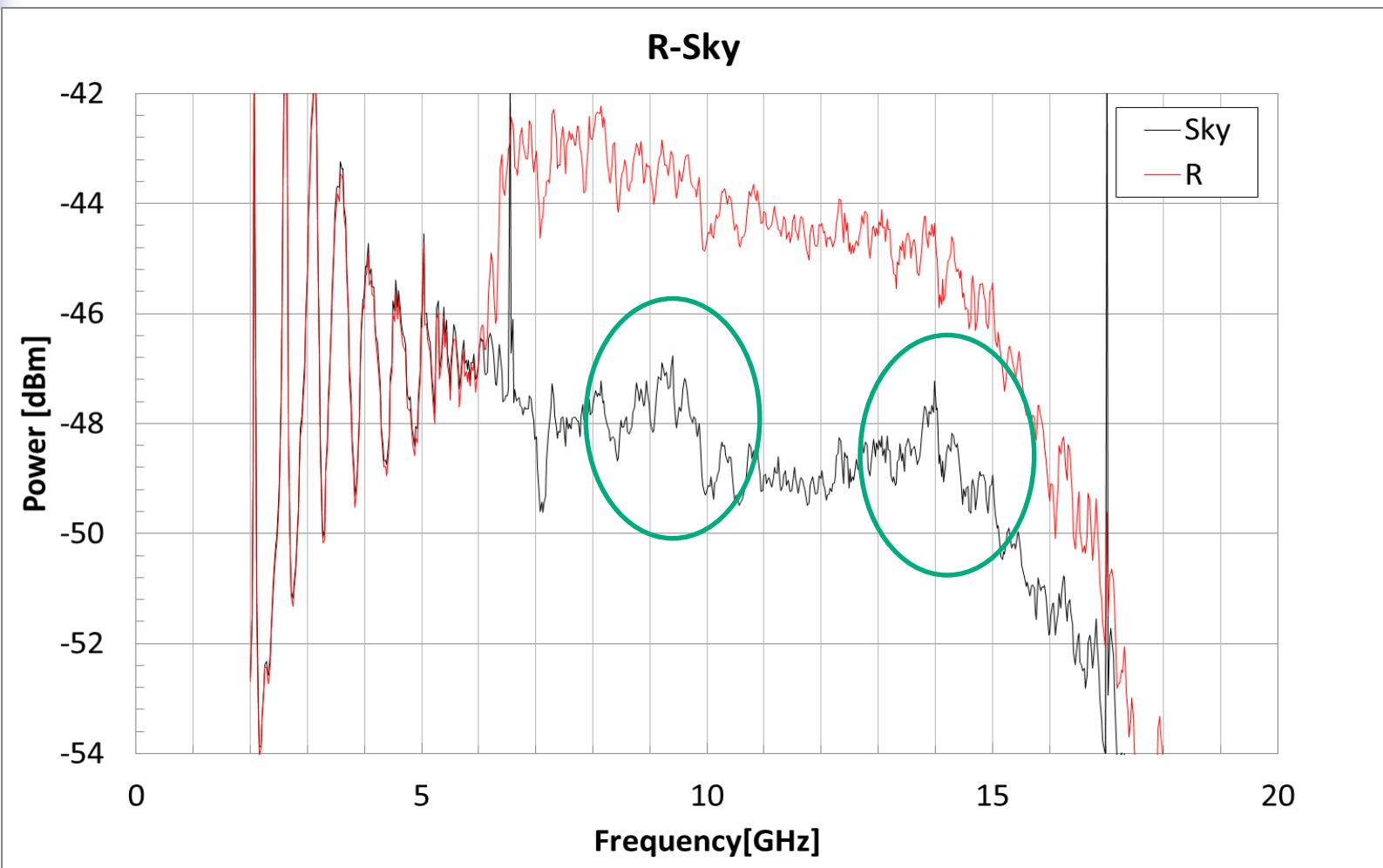


# SEFD

SEFD:システム等価フラックス密度 = アンテナ性能の指標

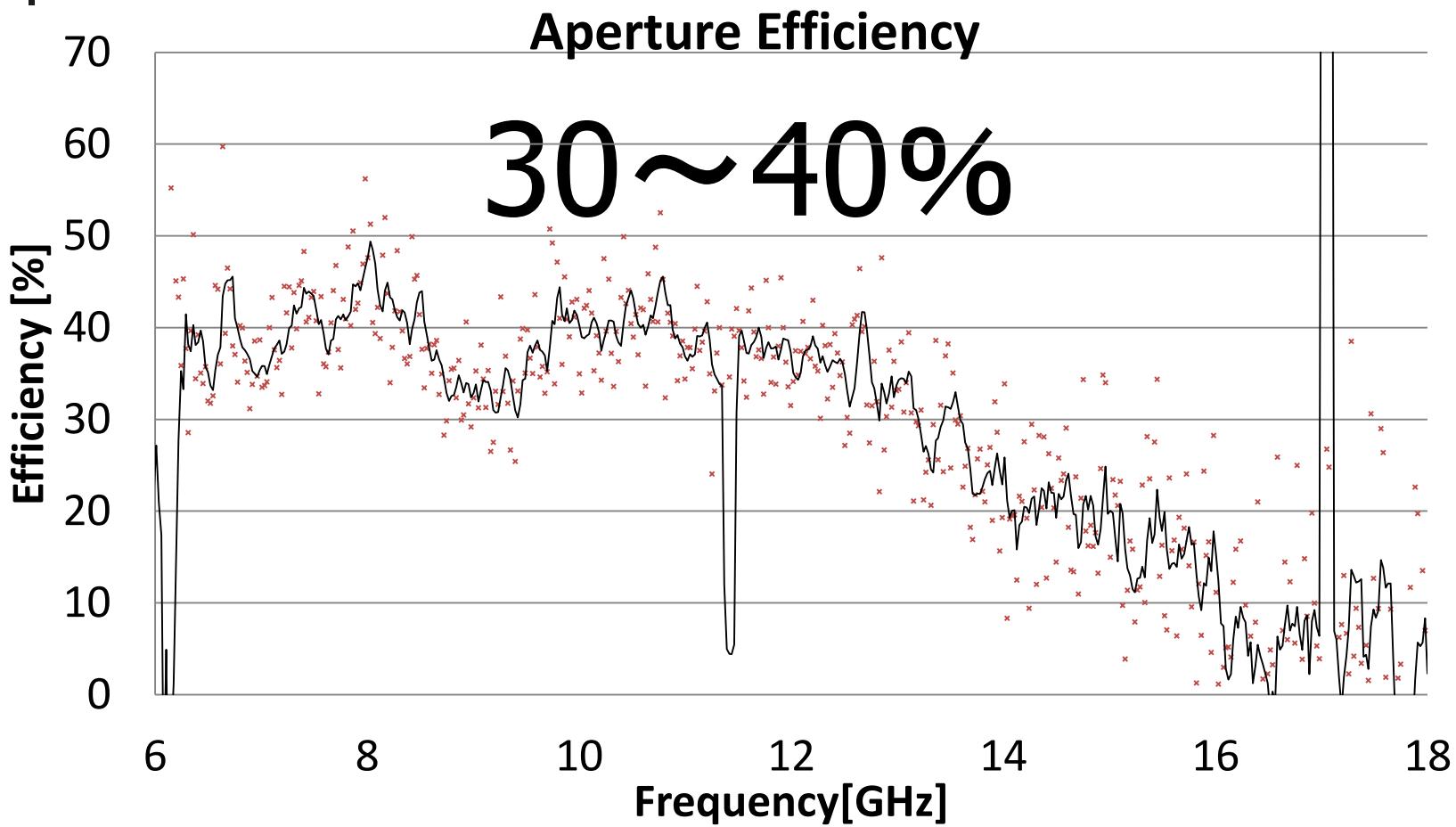


# 9GHz,14GHz付近での Tsys,SEFDの盛り上がりの原因



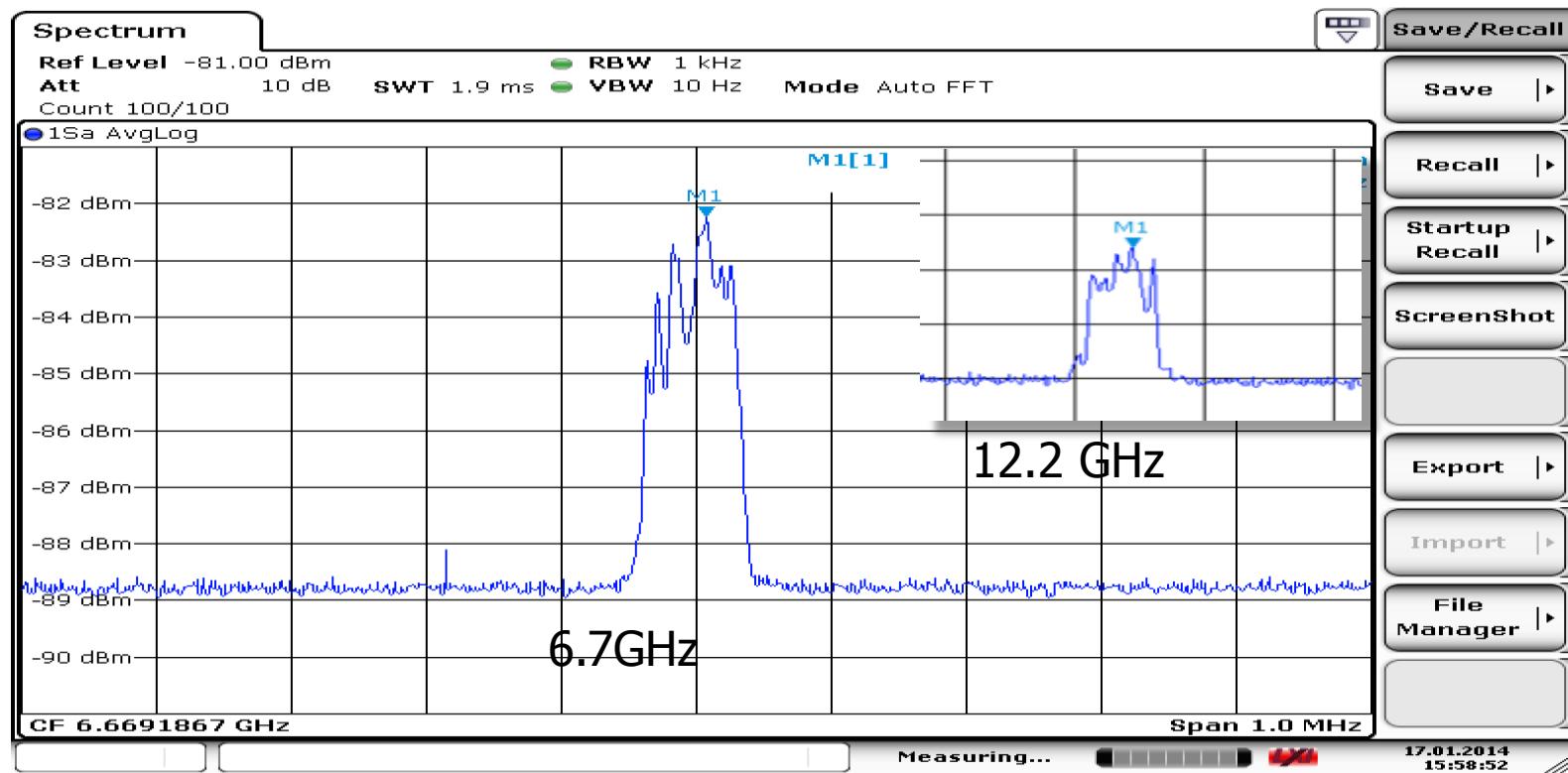


# Efficiency with Cyg-A



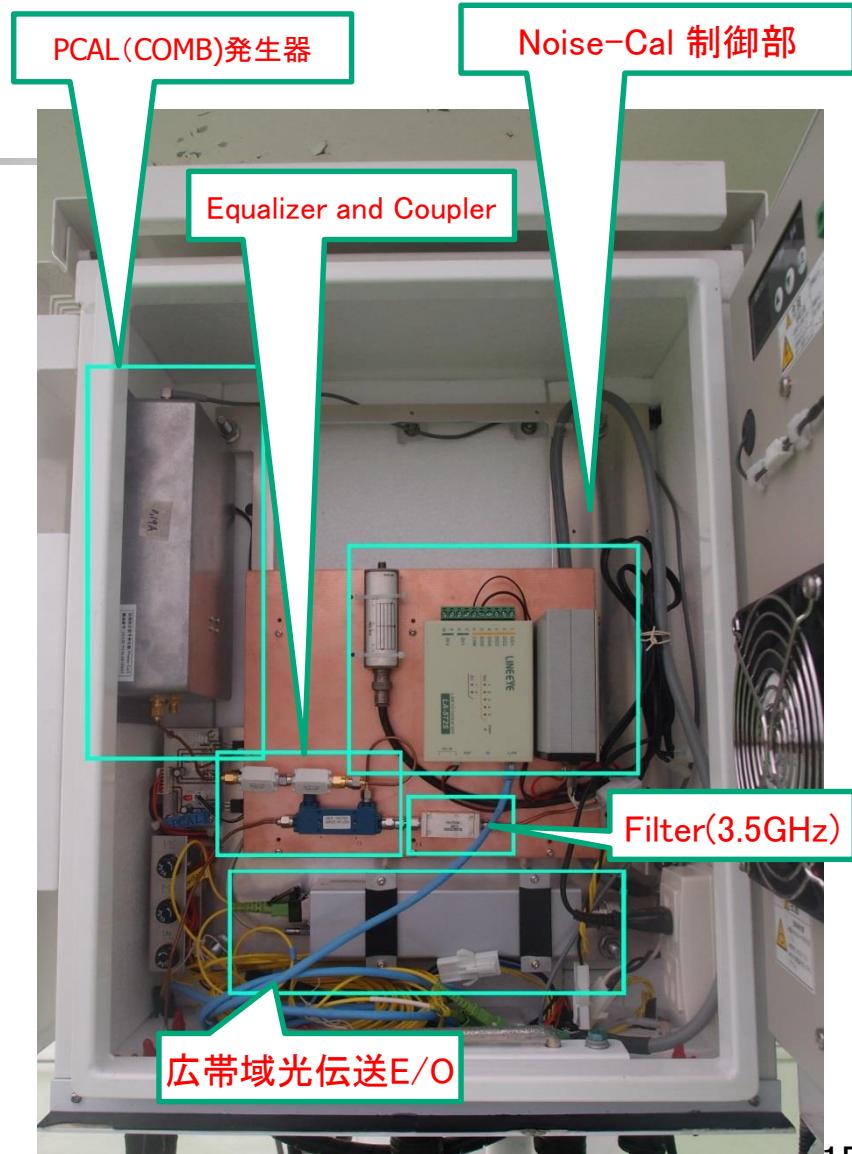
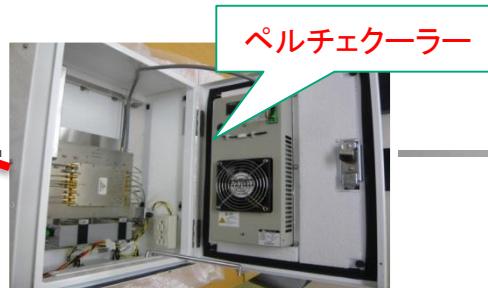
# メタノールメーザ 6.7GHz 12.2GHz の同時受信成功

- W3OHなど複数の天体について、メタノールメーザ 6.7GHz、12.2GHz の同時受信に成功しました(16 Jan.2014.) このような観測ができるのは現在鹿島34mのみ。

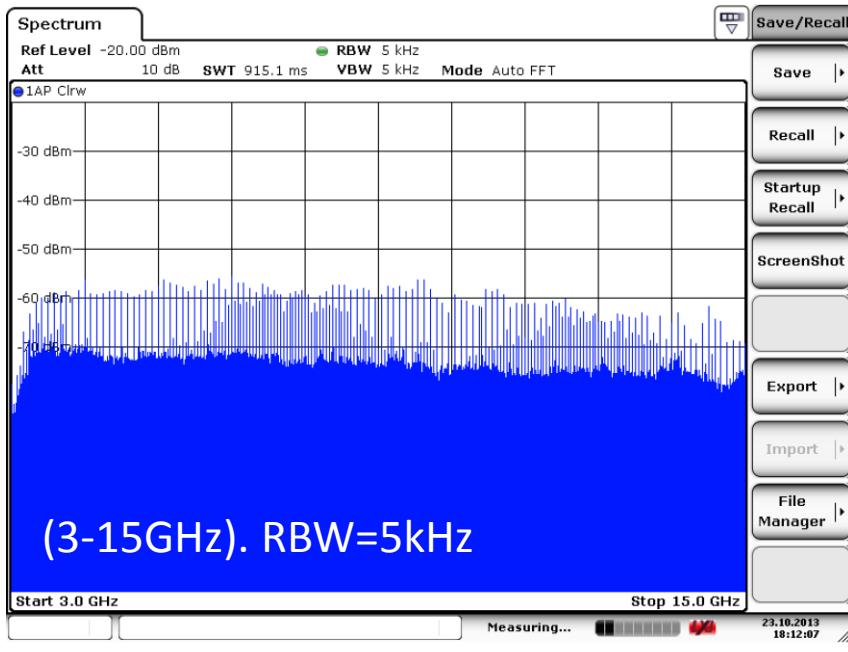


Date: 17.JAN.2014 15:58:51

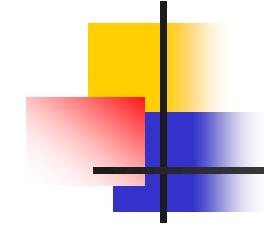
# MARBLE小型アンテナのRF-BOX



バンド幅合成に大切なPCAL信号の品質  
(位相)確認が必要



# 産総研 3-7棟 屋上へのMarble1アンテナの設置



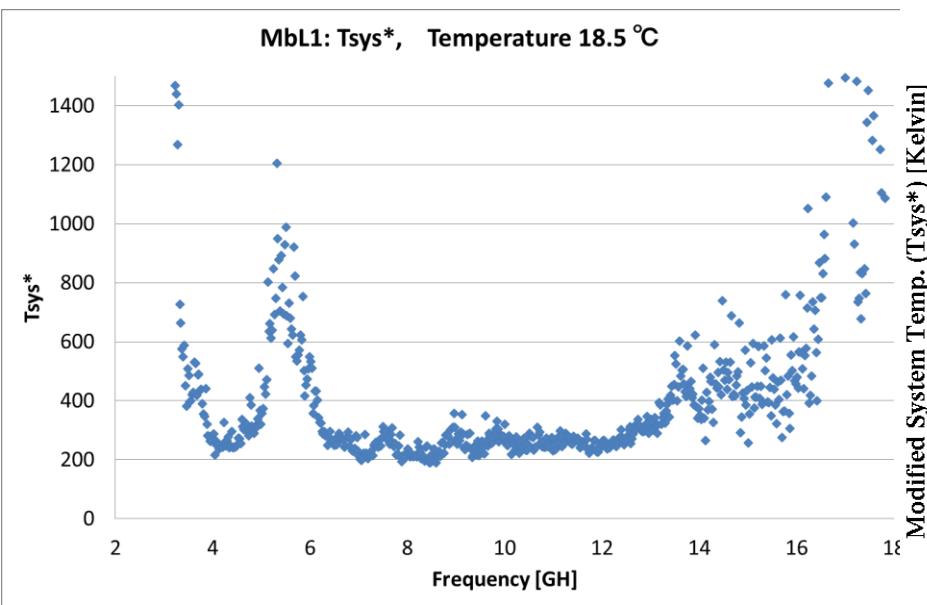
# Webcamモニタ 遠隔観測操作



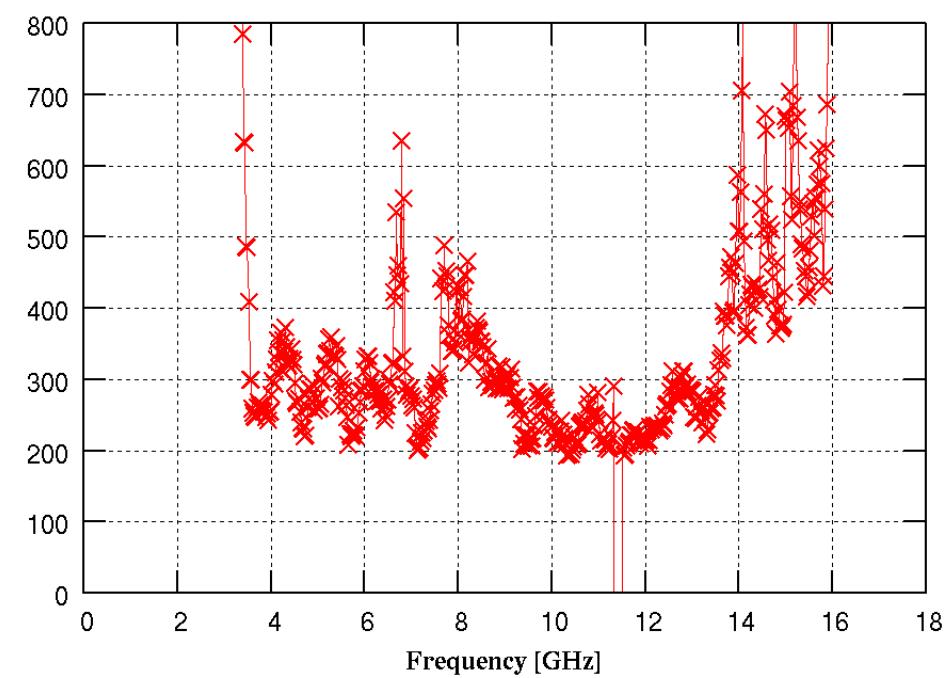


# Tsys\*

Marble1(産総研つくば)



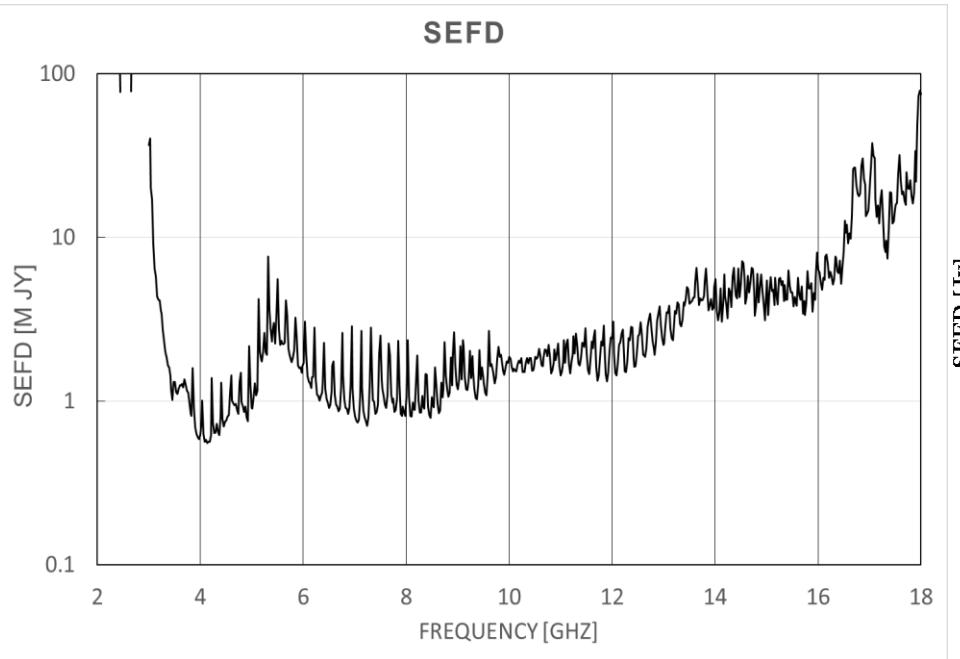
Marble2(小金井)



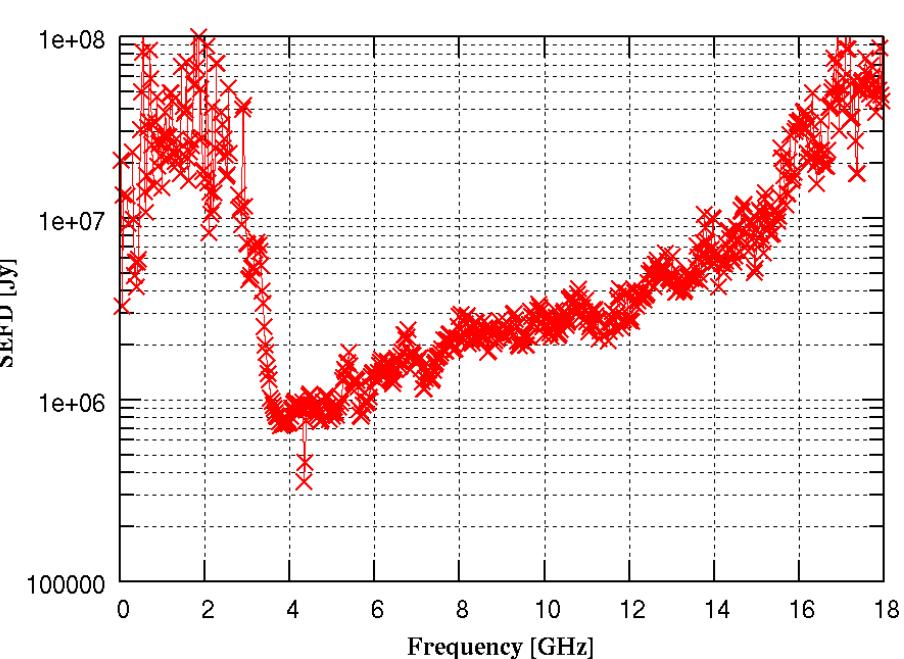


# SEFD

Marble1(産総研つくば)



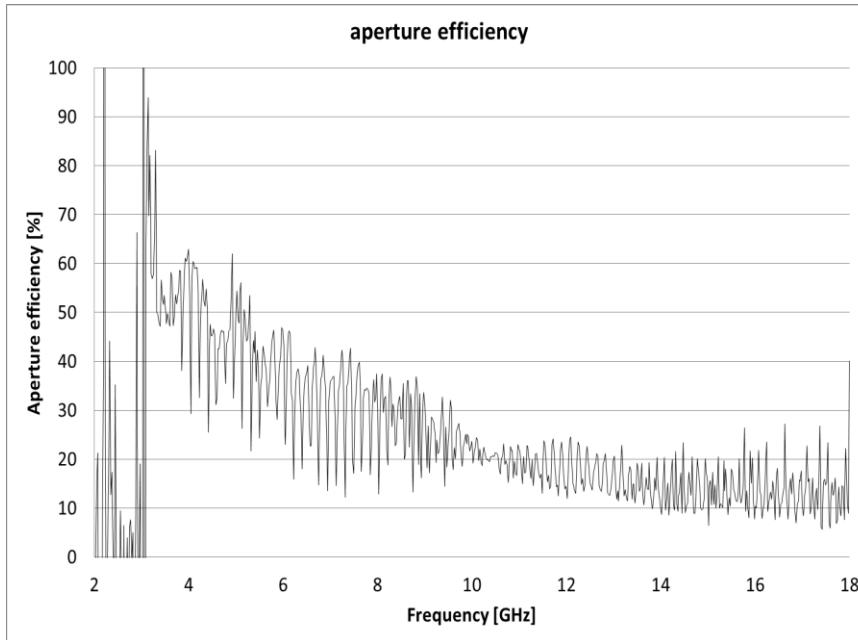
Marble2(小金井)



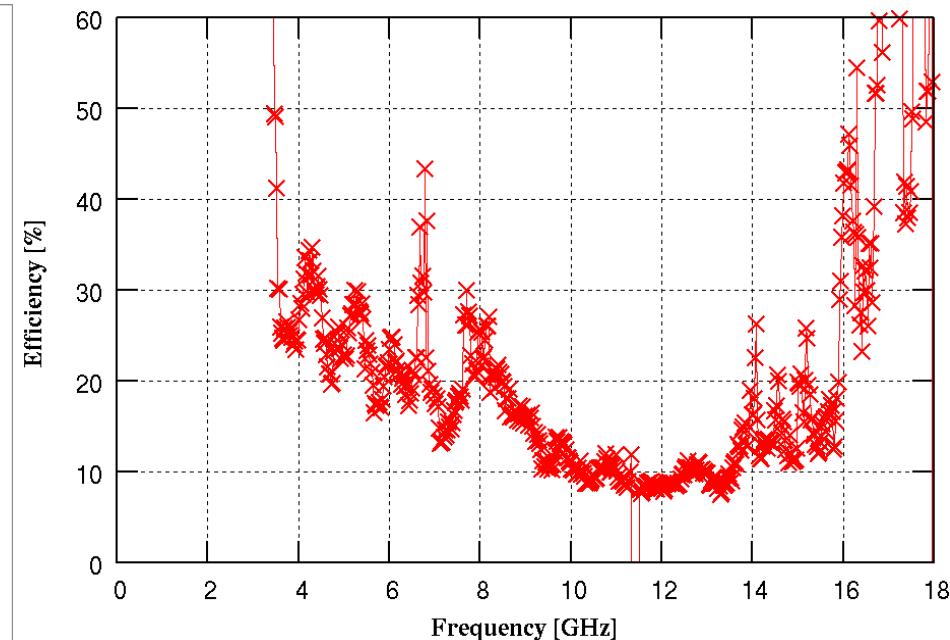


# 開口効率

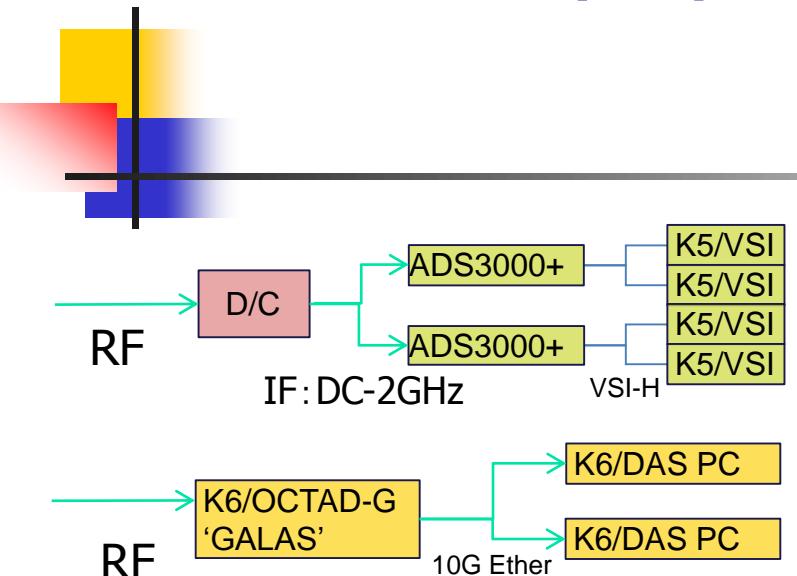
Marble1(産総研つくば)



Marble2(小金井)



# データ収集系: 1GHz x 4 Ch



2つのアプローチ

1. アナログ Down Converter と “ADS3000+”
2. Direct Sampler “GALAS”

任意の 1MHz step 周波数でデジタルフィルタ+周波数変換。



ADS3000+ Sampler

Direct Sampler “GALAS”  
DBBC(BW=1024MHz)

# 今後の計画

青:ほぼ完了  
茶:進行中  
赤:これから

## システム開発

### アンテナ

- 広帯域フィード
- 軸校正、ケーブル捻回部の調整
- 焦点調整・性能測定
- 位相校正信号(PCAL) 性能確認

広  
帯  
域  
信  
号  
伝  
送

### 記録系

- サンプラ性能評価
- ネットワーク受信・記録
- ネットワーク等の整備

### データ処理系

- GICO相関器
- 分散処理
- 超広帯域バンド幅合成

### 解析系

- CALC/SOLVE
- C5++

## ■ VLBI試験観測の実施中

## ■ 観測・解析戦略の調査・検討が必要

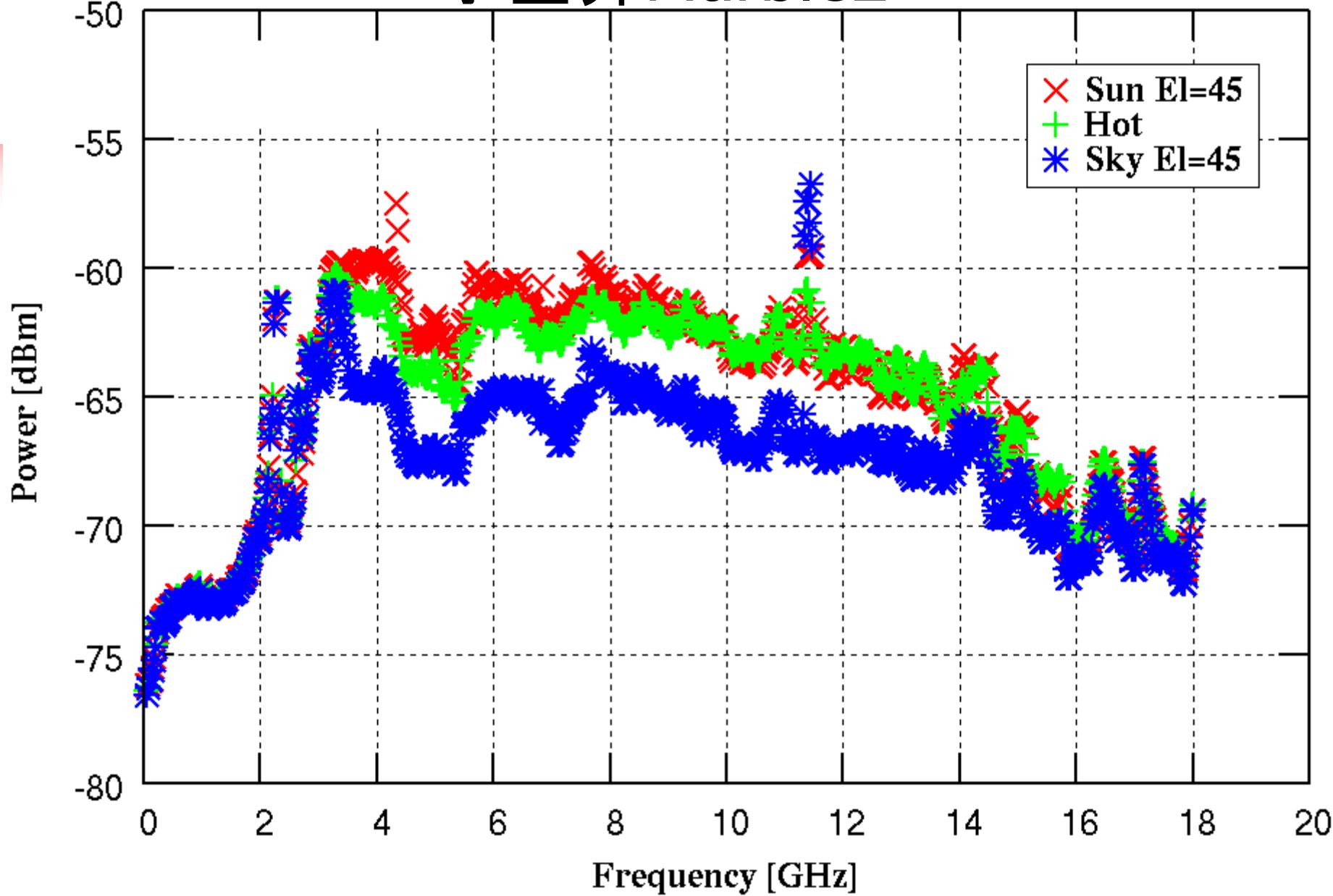
1. 位相遅延を使った周極星の観測 課題:大気遅延補正(KARATS, GPSなど)
2. 多方向の天体を使った広帯域Gala-V観測 課題:超広帯域バンド幅合成ソフトの整備と解析パスの確立

共通クロックなどのVLBI観測をとおして課題の洗い出し。



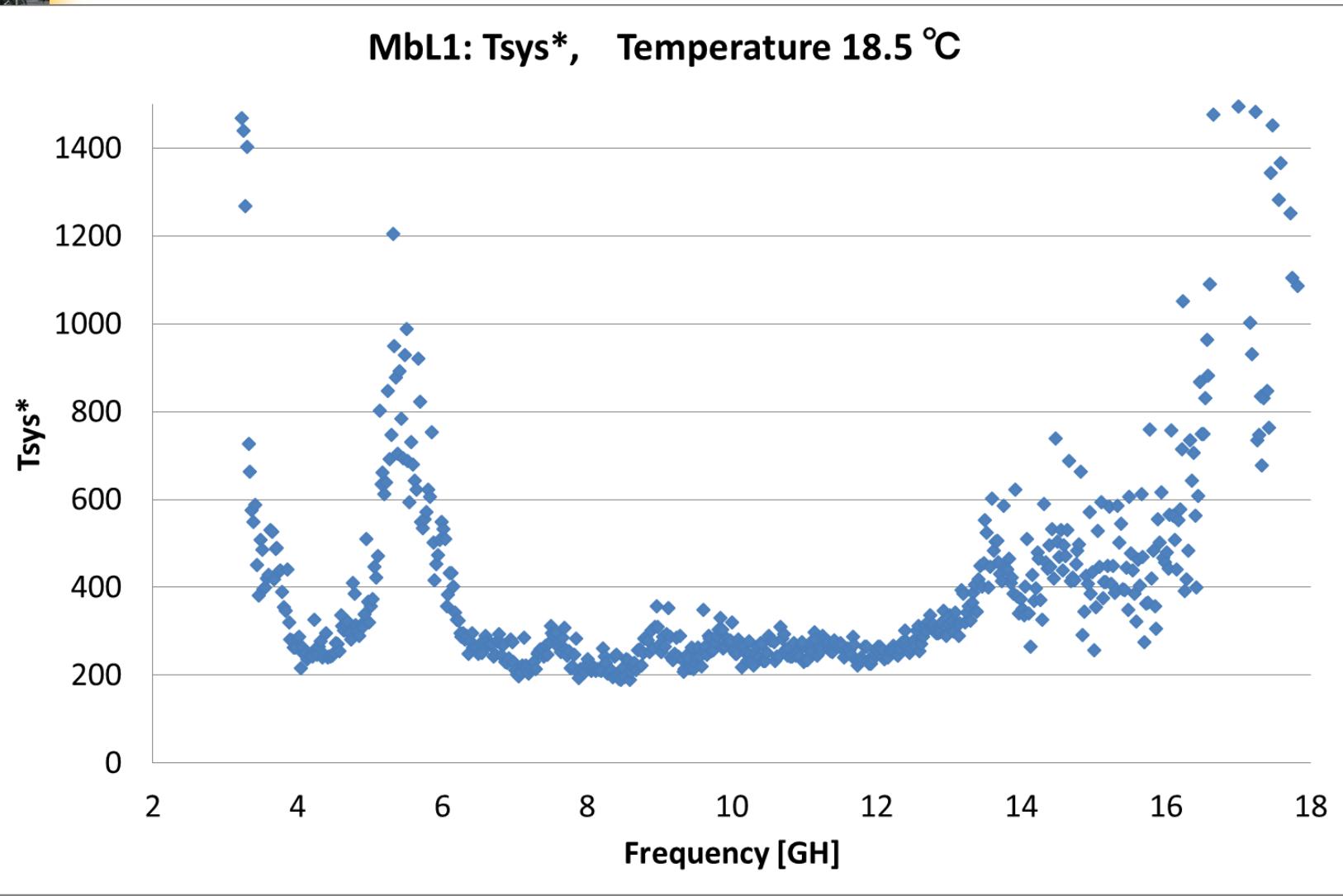
ありがとうございました。

# 小金井Marble2





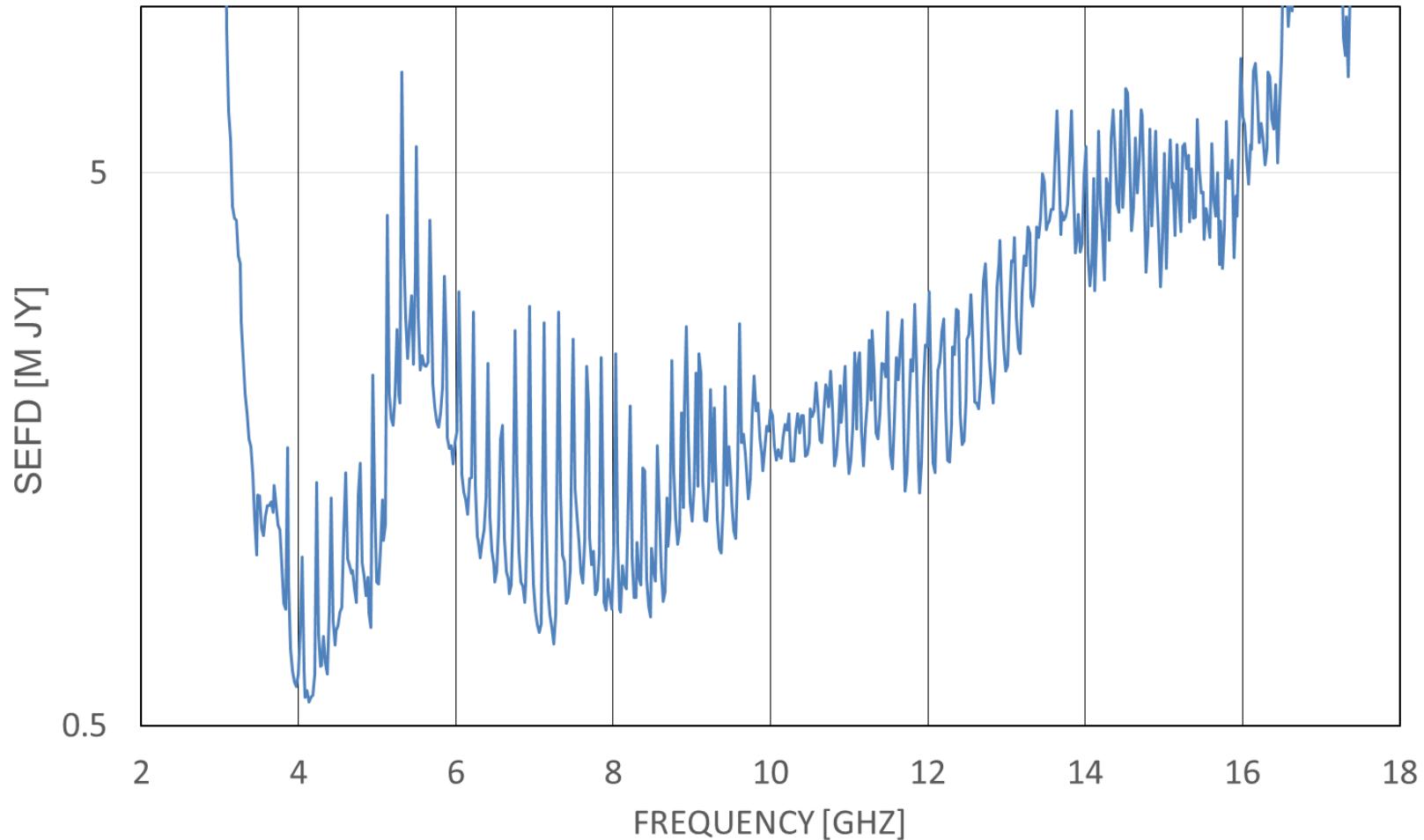
# 産総研つくば Marble1 Tsys\*





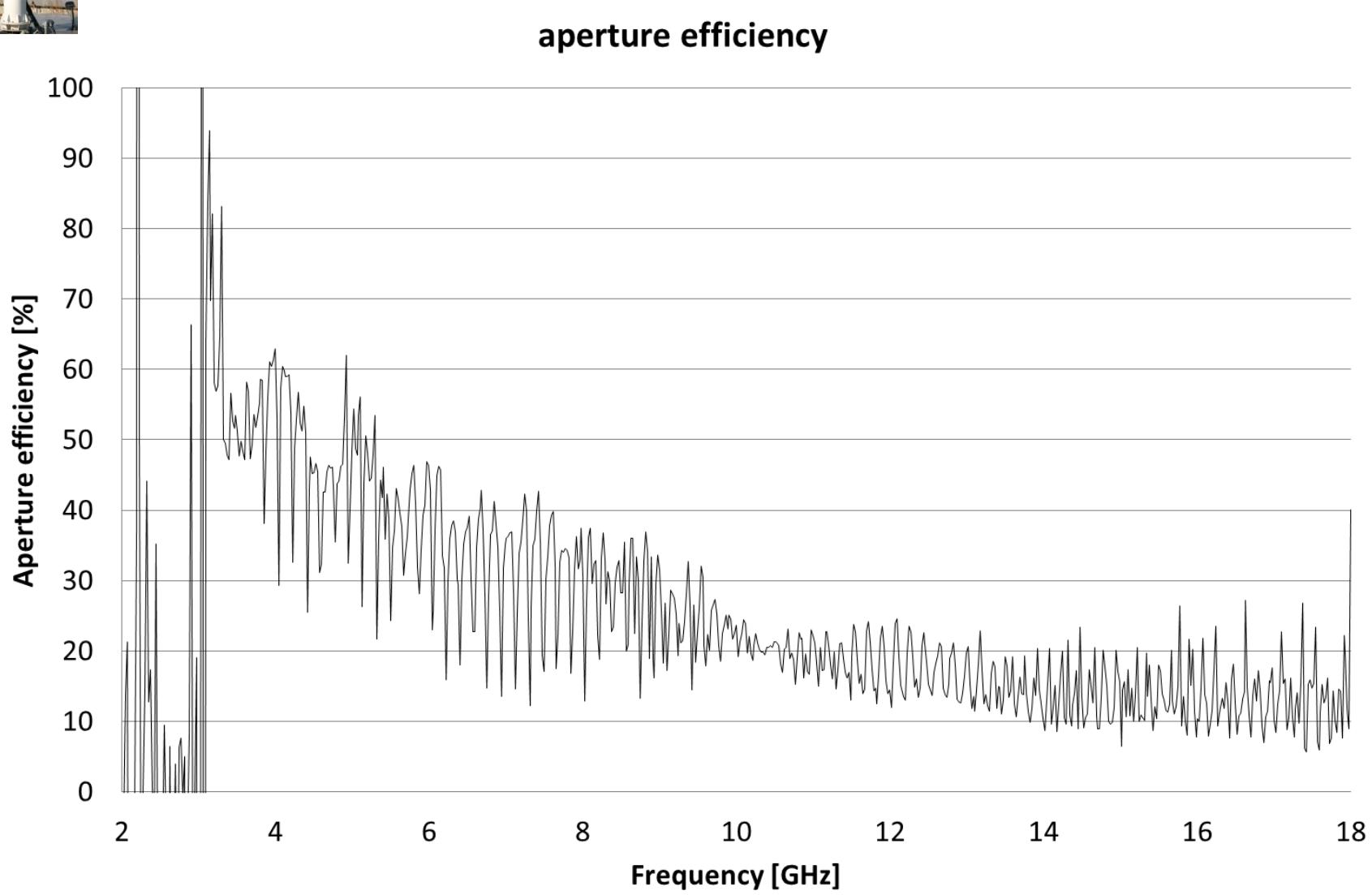
# 産総研つくば Marble1 SEFD

SEFD

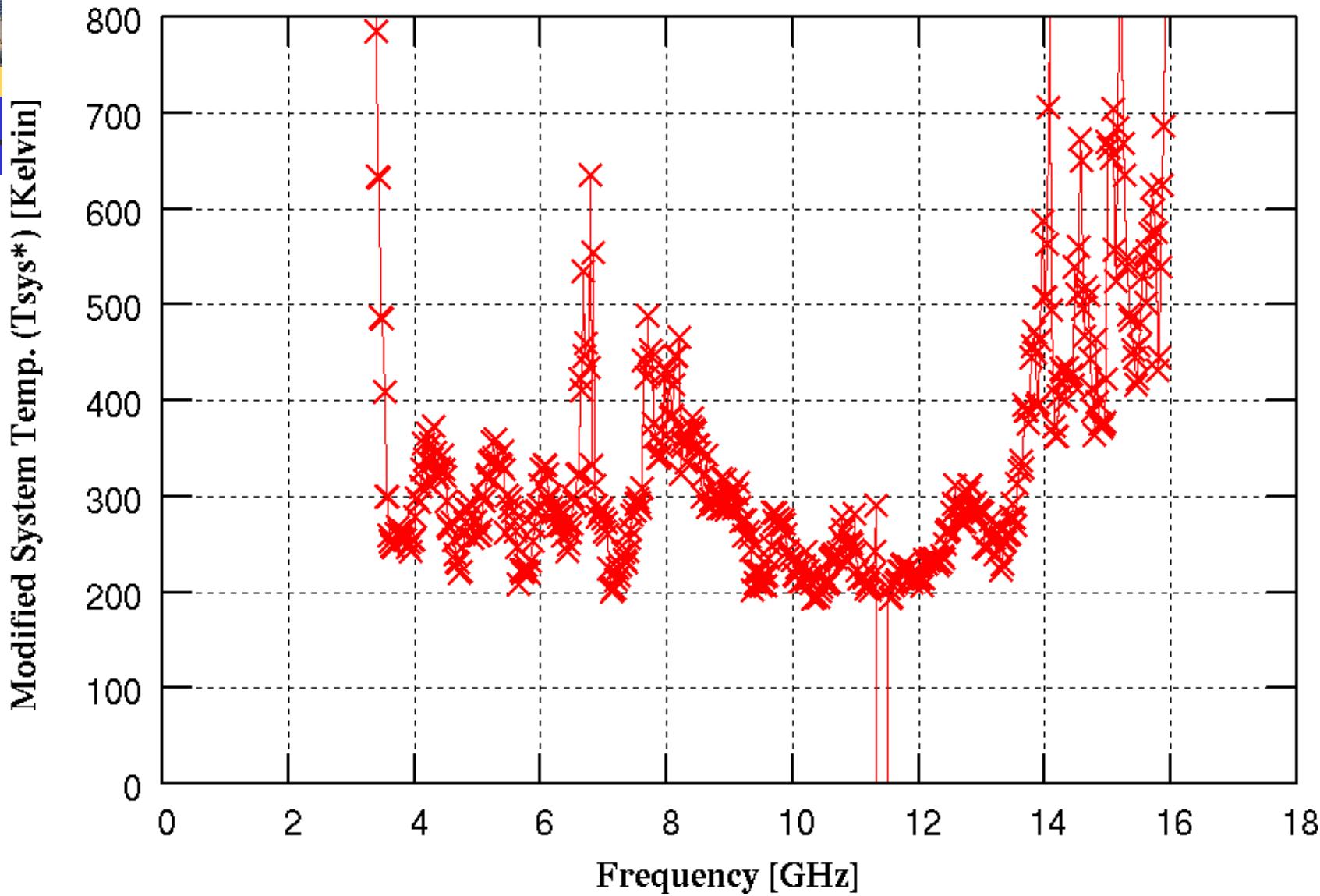




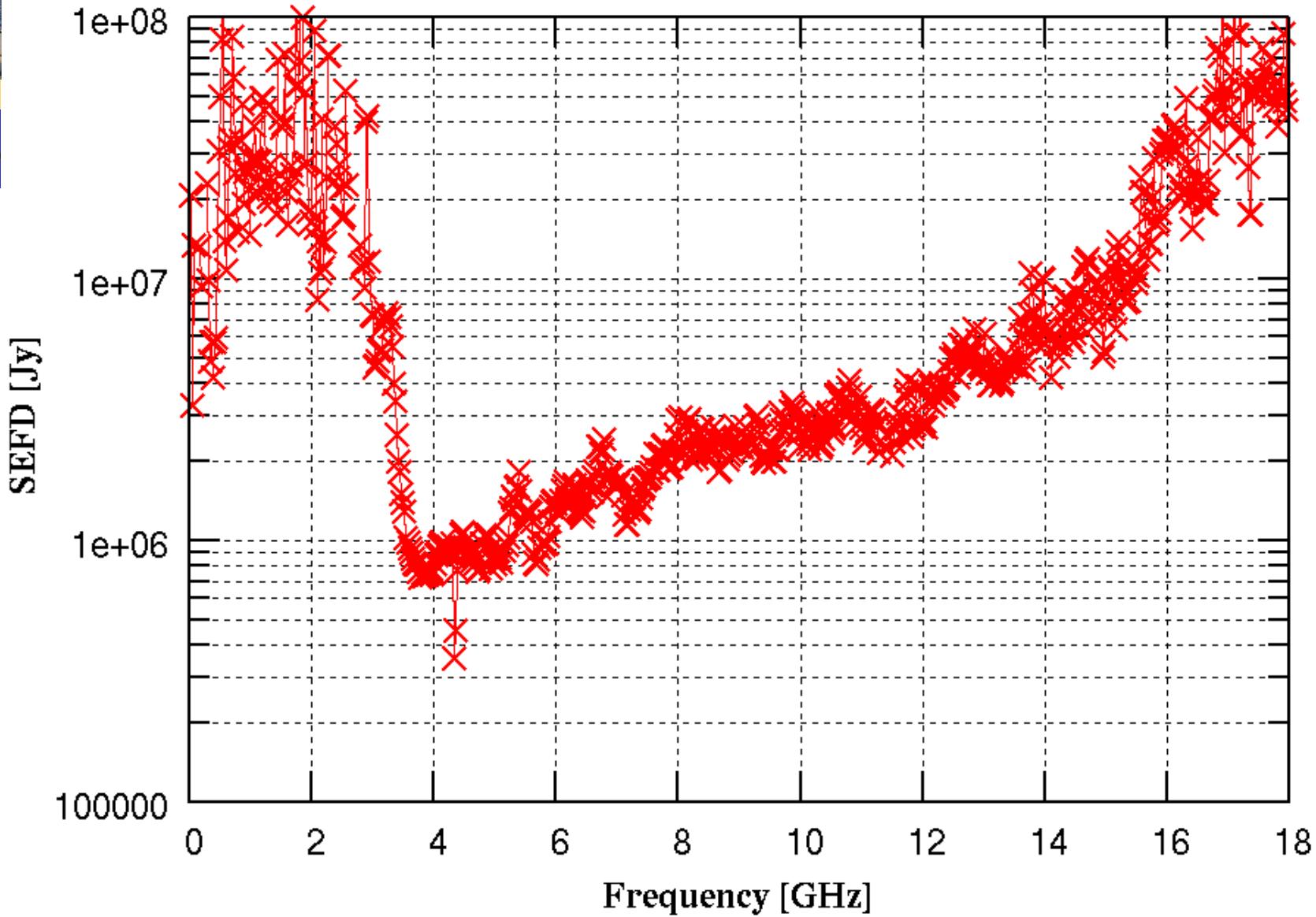
# 産総研つくばMarble1 開口効率



# 小金井Marble2 Tsys\*



# 小金井Marble2 SEFD



# 小金井Marble2 開口効率

